

ENSAYO METODOLÓGICO DE DETERMINACIÓN DE LA HELADICIDAD DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL FABRICADO CON ÁRIDO RECICLADO

Sandra Martín⁽¹⁾, Mónica Maceda⁽¹⁾, Antonia Pacios⁽²⁾, M^a Consuelo Huerta⁽²⁾, José–Luis Parra⁽¹⁾

(1) Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Minas. Grupo de investigación SCI-UPM C/ Ríos Rosas 21.28003 Madrid. España.

(2) Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Industriales C/ José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid. España.

RESUMEN

Esta comunicación presenta el ajuste de una metodología de determinación de la resistencia al hielo-deshielo de hormigones estructurales fabricados con árido reciclado, la cual se está llevando a cabo por un grupo de trabajo integrado por profesores y estudiantes de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Minas e Industriales, de la Universidad Politécnica de Madrid, con el fin de evaluar la variación de las propiedades que sufren distintas dosificaciones de dichos hormigones cuando son sometidas a ensayos de heladicidad. Se realiza en primer lugar un estudio de la normativa existente, con el objetivo de definir tanto la duración de los ciclos como los criterios de degradación. Seguidamente se registra, mediante medidas de la velocidad de propagación de ultrasonidos las variaciones observadas en el hormigón. Al final de la puesta a punto de la técnica experimental se puede decir que se llegan a reproducir los ciclos de hielo-deshielo diseñados y se observa degradación del material.

ABSTRACT

This paper is showing the adjust of a methodology for the determination of the thaw-freezing resistance of structural concretes made with recycled aggregates. This research is doing by a work group of professors and students from the Schools of Mining and Industrial Engineering, belonging to the Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Its aim is the evaluation of the changes in the properties of different mix of these concretes after the thaw-freezing tests. First, a study of the related standards has been done in order to define the size of the cycles and the damage criteria. The changes observed in the concretes are registered through the measure of pulse velocity. At the end of the experimental adjust of the method it is possible to say that the designed thaw-freezing cycles are reproduced and a damage of the material is observed.

Palabras clave: reciclado, hormigón, durabilidad, resistencia hielo-deshielo.

Keywords: recycling, concrete, durability, thaw-freezing resistance

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

En el marco del proyecto CLEAM, de la convocatoria CENIT, dentro de las actividades de la tarea 2.1. “Áridos reciclados para la fabricación de hormigones estructurales”, coordinada por SACYR, entre la empresas de la A.I.E. CLEAM-CENIT, y con la dirección técnica del CEDEX, participa la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En dicha tarea se está llevando a cabo un estudio de la durabilidad de hormigones estructurales fabricados con árido reciclado. Los distintos grupos participantes en el proyecto tienen por objetivo estudiar las propiedades que puedan afectar de forma significativa a la durabilidad del hormigón. En el caso del presente grupo, ésta ha sido la heladicidad, evaluándola mediante la medida de la variación del módulo de elasticidad, a ser posible por métodos no destructivos, como por ejemplo mediante el empleo de ultrasonidos (en adelante US). Para la realización de estos ensayos se está contando con la colaboración del Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción (LOEMCO) de la ETSI Minas y del Laboratorio de Estructuras de la ETSI Industriales, ambos pertenecientes a la Universidad Politécnica de Madrid, así como de CEMEX ESPAÑA, concretamente del laboratorio situado en la Planta de San Fermín (Madrid).

1.2.- Estudio de normativa relevante

Después de unos ensayos preliminares, en los que se sometía a probetas cilíndricas de hormigón a ciclos de hielos-deshielo siguiendo la normativa UNE-EN 491 (elementos superficiales), que se menciona a continuación, no se observó degradación aparente en el hormigón, por lo que se encontró la necesidad de buscar una normativa mejor adaptada a la geometría de las probetas del hormigón.

Para tratar de optimizar los ciclos de heladicidad, se hizo un estudio comparativo de la normativa existente, en cuanto a la geometría de las muestras, el número de ciclos y si necesitaban saturación previa o no, y por último el tipo de mediciones de control que se llevaban a cabo. Las normas que se estudiaron fueron:

- UNE-EN 491, Tejas y piezas de hormigón para tejados y revestimientos de muros [1]. Primera norma utilizada como referencia para la duración de los ciclos y condiciones de ensayo.
- UNE-EN 12371, Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad [2]. En esta normativa se hace referencia al

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

registro de las frecuencias modales de las probetas como medida no destructiva.

- UNE-CEN/TS-12390-9EX, Ensayos de hormigón endurecido. Resistencia al hielo deshielo. Pérdida de masa superficial [3].
- ASTM C 666-80, Resistance of concrete to rapid freezing and thawing [4].

La Tabla 1 muestra las principales variables de los procedimientos de ensayo.

Tabla 1: Normas estudiadas para la realización de los ciclos de hielo-deshielo.

MÉTODO DE ENSAYO			UNE-EN 491	UNE-EN 12371	UNE-12390-9EX	ASTM C666-80
PROBETA			Tejas. Tamaño aproximado 33x42 cm	Prismas 50 mmx50mm Altura 300mm	Cubos de hormigón de 150mm	Prismáticas o prismas cortados Ancho: $\geq 75 \leq 125$ mm. Longitud: $\geq 275 \leq 405$ mm
CICLOS DE HIELO-DESHIELO			de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a $-20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ Tiempo $2\text{h} \pm 30\text{min}$	de $\geq +5^{\circ}\text{C} \leq 20^{\circ}\text{C}$ a $\leq -8^{\circ}\text{C} \geq -12^{\circ}\text{C}$ Tiempo 6h	de $20 \pm 4^{\circ}\text{C}$ a $-19 \pm 3^{\circ}\text{C}$ Tiempo 12h	de $4,4^{\circ}\text{C}$ a $-17,8^{\circ}\text{C}$ Tiempo: P. Congelación: 2 y 5h. S. enfriamiento: al menos el 50% del tiempo de este periodo.
			Subciclo Enfriamiento			
			Subciclo Congelación	Inmersión total en agua Tiempo 30min	$-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ Tiempo 4h	$-17,8^{\circ}\text{C}$ Tiempo: Como mucho el 50% del periodo de congelación
			Subciclo Descongelación	de $\leq -8^{\circ}\text{C} \geq 12^{\circ}\text{C}$ a $\geq +5^{\circ}\text{C} \leq 20^{\circ}\text{C}$ Tiempo 2h 30min	de $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ a $20 \pm 4^{\circ}\text{C}$ Tiempo= 6h	de $-17,8^{\circ}\text{C}$ a $4,4^{\circ}\text{C}$ Tiempo: P. Descongelación: 20% del tiempo del P.Congelación. Este subciclo será al menos el 50% de este periodo.
Periodo de Descongelación			Subciclo Mantenimiento	$20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ Tiempo 15min.	$\geq +5^{\circ}\text{C} \leq 20^{\circ}\text{C}$ Tiempo 3h	$4,4^{\circ}\text{C}$ Tiempo: Como mucho el 50% del P.Descongelación.

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

OBSERVACIONES	Después de 25 ciclos se ensayan la impermeabilidad y la resistencia a flexión transversal	Después de 240 ciclos (o fallo) se determina la resistencia a compresión. Se realiza una inspección visual cada 14 ciclos.	Se determina pérdida de masa a los 7, 14, 28, 42 y 56 ciclos.	Después cada 36 ciclos se determina la pérdida de masa y frecuencia transversal. Se finaliza el ensayo a los 300 ciclos o pérdida del módulo dinámico del 60%.
----------------------	---	--	---	--

1.3.- Alcance del trabajo

A la vista de la normativa existente se considera diseñar un ciclo propio optimizado al número de probetas y características del material. Como medidas de control no destructivas de los cambios experimentados por los hormigones estructurales con árido reciclado se realiza en el inicio y final del ensayo la variación de la velocidad de propagación de US [5, 6] y la variación de las frecuencias modales [7]. Durante el ensayo, como registro de control y para determinar la duración de los ciclos únicamente se realiza la determinación del tiempo de propagación de US.

Adicionalmente, al final de los ciclos de hielo-deshielo se realizará la determinación de la resistencia a compresión de las probetas ensayadas y de las probetas de referencia [8].

2.- PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1.- Caracterización de los materiales componentes

Para la realización del presente estudio, se ha fabricado un hormigón de relación agua/cemento 0,45 con cuatro dosificaciones diferenciadas en el porcentaje de árido grueso reciclado empleado (0 %, 20 %, 50 % y 100%), utilizando para todas ellas un mismo método de amasado y con un árido, cemento y aditivos procedentes de la misma partida. La Tabla 2 muestra los materiales componentes del hormigón.

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 2: Materiales componentes de los hormigones fabricados.

MATERIALES	DOSIFICACIÓN				CARACTERÍSTICAS GENERALES
	0%	20% [*]	50%	100%	
Cemento (kg/m³)	385,00	385,00	385,00	385,00	CEM I 52,5N/SR
Agua (l/m³)	173,00	173,00	173,00	173,00	
Arena-AN (Kg/m³)	813,86	698,22	741,70	746,16	Calizo de machaqueo (0/6) Módulo de finura 3,1 Absorción 2,85
Grava-GVN (kg/m³)	870,95	747,90	431,78	0,00	Calizo de machaqueo (12/20) MG 8,15 Absorción 1,48
Gravilla-GVLN (kg/m³)	167,57	143,92	83,10	0,00	Calizo de machaqueo (6/12) MG 7,22 Absorción 2,37
Grava Reciclada-GVLR (kg/m³)	0,00	220,95	514,88	963,22	Árido reciclado (6/20) MG 7,96 Absorción 5,08
Aditivo SP (% cemento)	1,50	1,00	1,00	1,00	Composición química: Copolímeros vinílicos modificados y agentes orgánicos minerales. Densidad (20°C): 1,15kg/l

^{*} Si bien la dosificación cuenta con un 20% de árido reciclado, por error en la pesada realmente se fabricaron con un 2% de árido reciclado, por lo que a partir de aquí nos referiremos a H4502. Estos hormigones son muy parecidos a los hormigones de control.

En la preparación de los materiales para la fabricación de los hormigones, se satura el árido reciclado en agua debido a su alto porcentaje de absorción. Para ello, una vez pesado, se sumerge en agua durante 10 minutos; pasado este tiempo se extrae el árido y se deja escurrir hasta conseguir que su peso sea como máximo el 4,5% más que su peso en seco. En estas series de fabricación los valores de absorción finales fueron del 4,17, 4,94, y 4,70 para las amasadas con 20%, 50% y 100% respectivamente.

2.2.- Caracterización de los hormigones

Se fabricaron cinco probetas cilíndricas estándar (15×30 cm), de las cuales dos se ensayaron a compresión, que se utilizan como hormigones de referencia, y las tres restantes se prepararon para ser sometidas a ciclos hielo-deshielo. Los valores de consistencia y resistencia de las probetas de referencia se muestran en la Tabla 3. Al igual que las probetas sometidas a ciclos, las probetas se ensayaron a la edad de 1 año.

Tabla 3: Características del hormigón H-0,45.

PROPIEDADES DE CONTROL	% ÁRIDO RECICLADO			
	0%	02%	50%	100%
Medida del asentamiento (cm)	21	17	12	16
Temperatura (°C)	20	22	21	18
Resistencia a compresión (N/mm ²)	65,00	57,72	55,00	44,80*
	47,20*	60,55	51,40	28,46

*Ver apartado 5

Como se puede ver, se aprecia una significativa disminución de la resistencia a compresión al aumentar el porcentaje de árido reciclado en la dosificación. Cuando las probetas se fabrican adecuadamente la dispersión de los valores es similar a la de los hormigones convencionales, tal como se ha podido comprobar en las distintas campañas de hormigones estructurales reciclados fabricados.

La Figura 1 muestra las roturas de las probetas de referencia.



Figura 1: Rotura a compresión de una probeta probetas con 0%, 20%, 50%, 100% de árido reciclado respectivamente.

3.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL HIELO-DESHIELO

3.1.- Procedimiento experimental

Como se ha indicado en el apartado 1.3, para evaluar la degradación de las probetas utilizamos la norma UNE-EN 12504-4. Se determina el cambio experimentado en el material, una vez ha sido sometido a ciclos de hielo y deshielo, utilizando como medida no destructiva de este cambio la variación de la velocidad de propagación de impulsos de ondas longitudinales ultrasónicas cuando atraviesan las probetas de hormigón. Cuando un hormigón es degradado esta velocidad disminuye y también sus propiedades mecánicas.

El ensayo consiste en la colocación de dos palpadores (uno emisor y otro receptor de la señal ultrasónica) en las bases de la probeta. Estos palpadores están unidos mediante una sonda a un dispositivo que mide el tiempo que tarda la señal en atravesar la probeta. El acoplamiento acústico entre los palpadores y el hormigón debe ser máximo, por lo que se emplea un gel que asegura la correcta transmisión de la señal. Las lecturas del tiempo se realizan hasta llegar a una medida mínima. Es muy importante que los palpadores estén en línea recta para el cálculo de la velocidad, ya que así se asegura que la distancia que recorre la señal es la que se mide y que no está desviada.

Una vez tomadas las medidas de tiempo se procede al cálculo de la velocidad de propagación y con ella el cálculo del módulo de elasticidad dinámico, que se encuentran relacionados mediante la ecuación 1.

$$v = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo:

E : Modulo de elasticidad dinámico (GPa)

μ : Coeficiente de Poisson (0,22 determinado con ensayos modales)

ρ : Densidad (Kg/m^3)

La Figura 2 muestra el equipo de ultrasonidos empleado, que tiene una resolución de $\pm 0,1\%$ y una precisión del 2%.



Figura 2: Esquema del dispositivo de medida de ultrasonidos.

Dadas las dificultades encontradas en evaluar si ha existido degradación o no en las probetas debido a la heladicidad, es necesario comprobar que las medidas obtenidas están en concordancia con la resolución del equipo, así como la repetibilidad de las mismas. Para ello se hace necesario evaluar:

- a) Resolución de la técnica empleada, modificando la persona y los puntos de medida;
- b) Efecto de la humedad de la probeta.

3.2.- Ensayo de ultrasonidos

3.2.1.- Repetibilidad de resultados

Dadas las primeras dificultades encontradas en la trazabilidad de las medidas de US se ha comprobado en todas las probetas la repetibilidad y reproducibilidad comprobando que se repite la medida en distintos puntos, incluso cuando cambia el operario. La Tabla 4 muestra los valores de US de una probeta sin árido reciclado, determinados por dos operarios. Se han seleccionado 5 puntos para disponer al menos de cuatro medidas para aquellas probetas que tengan embebidas un termopar: uno en el centro y los otros cuatro puntos equidistantes en el borde de la

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

probeta. A la vista de los resultados se ha procedido a realizar únicamente las medidas P1 a P4 en el resto de las probetas.

Tabla 4: Valores de US (μ s) en una probeta sin árido reciclado

PROBETAS	Centro (C)	P1	P2	P3	P4	Media C	Media P1	Media P2	Media P3	Media P4	Media 5 puntos de medida
H45__2_O 1	63,1	62,6	62,3	65,2	65,8	63,27	62,43	62,53	64,57	65,57	63,67
	63,2	62,0	62,5	64,1	65,5						
	63,5	62,7	62,8	64,4	65,4						
H45__2_O 2	63,3	63,2	63,0	64,4	64,9	63,63	63,00	63,23	64,50	65,33	63,94
	63,7	63,1	63,4	64,7	65,4						
	63,9	62,7	63,3	64,4	65,7						

Como se puede observar los valores de repetibilidad son coherentes con la precisión de la técnica, lo que nos indica que la ejecución del ensayo (cantidad de gel utilizada, el pulido de la superficie,...) es correcta.

3.1.2.- Efecto de la humedad de la probeta

Dado que como medida de control de la evolución de la degradación de las probetas se va a utilizar la determinación de US en el momento de sacar de la cámara de heladicidad, es decir, en condiciones saturadas, y para la correlación con otras propiedades mecánicas se determinará los US en probetas secas, se hace necesario comprobar el efecto de la humedad de las probetas en las medidas. La Tabla 5 muestra los valores obtenidos en probetas curadas durante 56 días en cámara climática, en estado seco y los valores obtenidos después de tener sumergidas las probetas en balsa de agua durante tres días. Se comprobó el peso de las mismas antes y después de saturación.

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 5: Tiempos de medida de ultrasonidos.

PROBETA	Seco T(μ s)	Saturadas T(μ s)	Variación (%)
H45__1	63,3	62,9	-0,63
H45__2	63,9	63,4	-0,78
H45__5	63,4	62,8	-0,95
H4502_1	64,0	63,1	-1,41
H4502_4	61,9	62,0	+0,16
H4502_5	65,6	64,5	-1,68
H4550_1	69,5	67,2	-3,31
H4550_2	68,8	68,2	-0,87
H4550_5	69,5	68,4	-1,58
H4500_2	72,7	72,5	-0,28
H4500_3	75,2	74,0	-1,60
H4500_4	75,4	74,0	-1,86

Si bien existen modificaciones, los valores para las probetas saturadas son ligeramente inferiores, no se comprueba una relación directa con la composición del material sino con el estado de cada una de ellas como resultado de la fabricación.

3.3.- Optimización del ciclo de hielo-deshielo

En ensayos previos se ha observado una baja o nula degradación de las probetas cuando se han sometido a ciclos de hielo-deshielo según norma UNE-EN 491, por lo que se procede a modificar los ciclos para alcanzar una temperatura de congelación en el interior de la probeta de -15°C registrada por termopar embebido, y de al menos $+5^{\circ}\text{C}$ en el subciclo de mantenimiento, siguiendo los patrones:

Cambiar la duración de los distintos tramos del ciclo hielo-deshielo;

Reducir el número de probetas en cámara.

Los tres ciclos más representativos que se ensayaron son los siguientes:

- Ciclo A: Es el ciclo empleado en la norma UNE-EN 491, que se realiza en cámara automática y tiene una duración total de 5,75 horas. Se diferencian cuatro subciclos. Se ensayaron 12 probetas simultáneamente. Los registros de la temperatura de la cámara no alcanzaron temperaturas inferiores a 0°C ,

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

probablemente debido al número de probetas, por lo que se procedió a cambiar de cámara y ciclo.

- Ciclo B: Se realizó en un arcón manual, por lo que los ciclos se diseñaron de 24 horas. La temperatura en el arcón es de -40°C y la temperatura de la balsa es de 25°C . Se ensayaban 4 probetas simultáneamente, que se introducían en la cámara y en la balsa manualmente. El tiempo de permanencia de las probetas en arcón era de 22 horas y en la balsa de 2 horas. Se observó que las probetas no se llegaban a descongelar totalmente y además la duración de los ciclos era demasiado elevada para poder acometer un número elevado de ciclos.
- Ciclos C: Se realizó en cámara automática, con una duración de 8 horas y 30 minutos. Se diferencian cuatro subciclos. Se ensayan ocho probetas simultáneamente. Varias probetas llevaban un termopar embebido para trazar la temperatura en el núcleo del hormigón con la temperatura de la cámara.

La Figura 3 representa los tres ciclos descritos anteriormente. Se debe observar que para el ciclo B no se pueden diferenciar cuatro subciclos con duración determinada, aunque se produzcan.

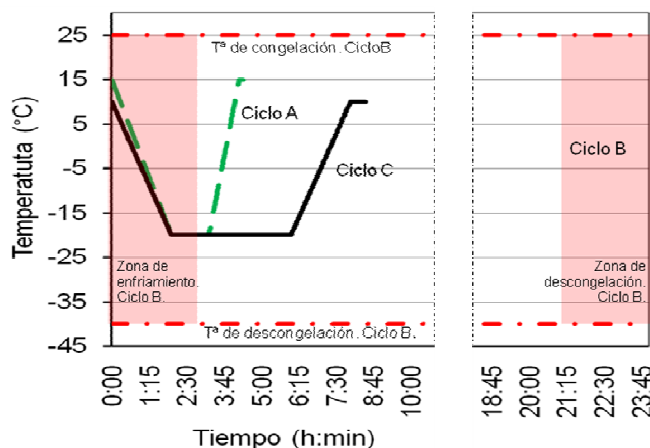


Figura 3: Los tres ciclos más representativos.

A modo de ejemplo la Figura 4 representa el ciclo definitivo en el que aparecen las temperaturas de consigna de la cámara, el registro de un termopar ambiente de la

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

cámara y las que registra un termopar embebido en una probeta, estando situadas ambas en los dos extremos de la cámara.

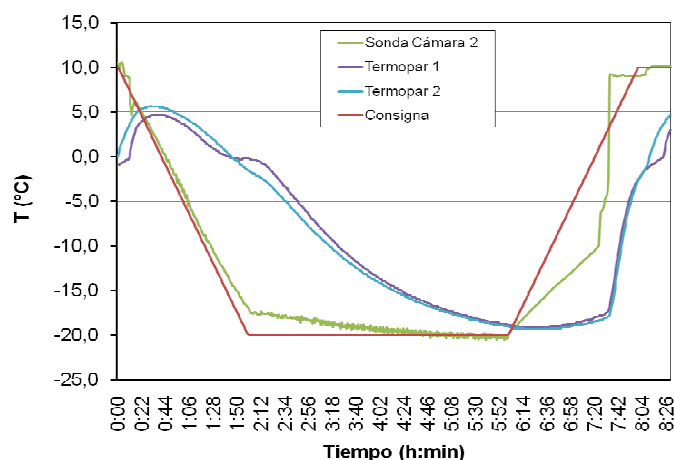


Figura 4: Temperaturas de cámara y termopar en el ciclo C.

Se puede observar que las probetas alcanzan una temperatura inferior a -15°C durante al menos 3 horas y llegan a $+5^{\circ}\text{C}$.

4.- RESULTADOS

Una vez optimizado los ciclos de hielo y deshielo, y comprobando que las probetas realmente llegaban a helarse en su interior, se determinaron los tiempos de propagación de US en probetas saturadas. A continuación se realizó la comprobación de las resistencias a compresión. La tabla 6 muestra los valores obtenidos.

Tabla 6: Registro de tiempo de propagación de US y resistencia a compresión.

Probetas sin ciclar			69 ciclos A y 55 ciclos B.			69 ciclos A y 40 ciclos C.		
	T (μs)	N/mm ²		T (μs)	N/mm ²		T (μs)	N/mm ²
H45___3	63,4	65,00	H45___2	65,9	--	H45___1	71,8	60,55
H45___4	64,0	47,20						
H4502_2	69,5	57,72	H4502_1	66,8	60,32	H4502_5	72,4	32,18

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

H4502_3	68,8	60,55						
H4550_3	70,1	55,00	H4550_5	70,1	49,49	H4550_1	107,1	30,49
H4550_4	66,8	51,40						
H4500_1	73,4	44,80	H4500_3	77,7	38,59	H4500_4	>2000	18,28
H4500_5	74,1	28,46						

Como podemos comprobar hay una correlación entre las variaciones de las lecturas de tiempo de propagación de US y las resistencias a compresión, tanto cuando existe degradación (probetas con 50% y 100% de árido reciclado en ciclos C) como cuando apenas se encuentran modificaciones (probetas de 0% y 2% de árido reciclado en ciclos B). Sin embargo los resultados de rotura no son concluyentes, dado que solamente se han ensayado una o dos probetas en las mismas condiciones.

5.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se representan los valores de velocidad de propagación de US y resistencia mecánica en la Figura 5. Las probetas con el 0% y 2% de árido reciclado son prácticamente un mismo tipo de hormigón, mientras que sí hay valores diferenciados para las probetas con 50% y 100% de árido reciclado. Lo primero que se puede comentar es que la medida de US puede ayudar a interpretar si una rotura a compresión ha sido válida o no. Por ejemplo, los valores de US obtenidos en la probeta H45___4 indican que la resistencia a compresión alcanzada es inferior a la esperada. De hecho los valores de resistencia a compresión de las probetas H4502_2 y H4502_3 son superiores, aún cuando incorporan un 2% de árido reciclado. También se puede observar en la Figura 5 que cuando las probetas no llegaban a deshelarse (ciclos B) realmente no estaban siendo sometidas a ciclos, lo que se registra tanto en los valores de US como en las resistencias a compresión.

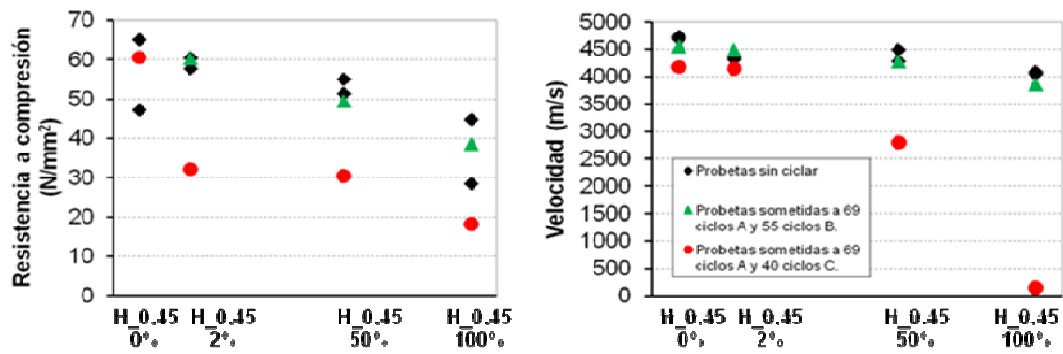


Figura 5: Valores de velocidad de US y resistencia a compresión.

La Figura 6 muestra las dos roturas a compresión de las probetas que han dado gran dispersión de resultados. En todas ellas se ha roto las superficies superiores de las probetas, independientemente de los valores de resistencia alcanzados.



Figura 6: Rotura de las probetas H45___3y H45___4; H4500_1 y H4500_5.

6.- CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra la necesidad de comprobar experimentalmente con propiedades de control que las propiedades medidas son correctas. Con el diseño optimizado de los ciclos hielo-deshielo, realizados en cámara automática, con una duración de 8 horas y 30 minutos, diferenciando cuatro subciclos, ensayando ocho probetas simultáneamente, se consigue la degradación de los hormigones estructurales. En el proceso de optimización se han registrado las temperaturas en el núcleo de los hormigones alcanzando los -15°C y $+5^{\circ}\text{C}$.

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Si bien en este trabajo no se presentan los hormigones con un número de ciclos elevados como para observar degradación en los hormigones convencionales sí se registra, tanto en la determinación de la velocidad de propagación de US como en los valores de resistencia a compresión, una disminución de resultados. Para los hormigones con todo el árido reciclado, la disminución de resistencias llega a ser del 50%.

El trabajo de este proyecto continuará con la fabricación de cuatro dosificaciones de hormigón con relación agua/cemento 0,45 y otras cuatro de hormigón con relación agua/cemento 0,55, con diferentes proporciones de árido reciclado, las cuales se someterán a ciclos de hielo-deshielo según el método que se ha ajustado con el fin de determinar la durabilidad de los mismos frente a esta propiedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer especialmente la colaboración de la dirección y personal del LOEMCO (Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción), adscrito a la ETSI Minas de la UPM, del Laboratorio de Estructuras de la ETSI Industriales de la UPM y del laboratorio de la planta de San Fermín (Madrid) de CEMEX España para la preparación de las probetas y la ejecución de los diferentes ensayos.

REFERENCIAS.

- [1] UNE-EN-491: 2005 Tejas y piezas de hormigón para tejados y revestimientos de muros. Métodos de ensayo. 23 p.
- [2] UNE-EN 12371: 2002 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad. 16 p.
- [3] UNE-CEN/TS 12390-9EX: 2008. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 9: Resistencia al hielo-deshielo. Pérdida de masa superficial. 28 p.
- [4] ASTM C666/C666M: 2008 Standard Test Method of Resistance of Concrete To Rapid Freezing and Thawing. 6 p.
- [5] ASTM C 597: 2002 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

VIII JORNADAS IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

4 p.

[6] UNE-EN-12504-4: 2006. Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos.16 p.

[7] UNE-EN-14146: 2004 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia normal).17 p.

[8] UNE-EN 12390-3:2001 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. 8 p.

La Información que se expone en la presente comunicación es fruto de los trabajos de investigación realizados en el marco del proyecto CLEAM CENIT, subvencionado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del programa CENIT. Dichos resultados son, pues, propiedad exclusiva de las empresas que promueven dicho proyecto y que constituyen la A.I.E. (Asociación de Interés Económico) CLEAM-CENIT.

